

誤り発生に影響する因子について

酒井義郎*・野山英郎*

On the Factors which Affect the Possibility of Error in Man-machine Communication

Yoshiro SAKAI and Hideo NOYAMA

Abstract

The issue of error in man-machine communication is already reported, based on experimental data. The experiment on a personal computer was conducted for the examination of human catastrophic behaviors. After the previous report, the analyses of variance were carried out for those experimental outcomes in order to clarify the factors which have some effect on the phenomenon concerned. The purpose here is to describe those analyses in detail. Seven factors are examined, and the results of the analyses show three of them affect the response of a subject.

はじめに

人間-機械インタフェースの構築に際して、インタフェースが人間を支援するためには、どのような誤りが人間によってもたらされるのかを承知しておく必要がある。人間の犯しやすい誤りについて、人間の行動一般において議論することが望ましいが、一般的な議論は困難である。そこで取りあえず人間-機械インタフェースにおいて必要とされる情報伝達の範囲で、人間の犯す誤りの形態としてどのようなものがあるのか類別を試みつつある。その一つとして、カタストロフィックな挙動についてすでに報告した。[1]ここではそこで用いた実験において得られたデータに対して、分散分析を行なった結果について報告する。

分析の因子と経過について

実験はパーソナルコンピュータ上にプログラムとして組んだものを用いて行なった。プログラムの実行にあたっては乱数の初期値を5種類用意し、これら5種類(これらをパターン1~5と呼ぶこととする。)につ

いて通して行なう実験を1組の実験として扱った。この実験の被験者にはこれを1組として10組について対応を依頼した。実験に際して、被験者には反応の仕方として、“○の数より×のそれの方が多くなったところで反応して欲しい”と伝えた。各パターンについて、上記の意味で被験者が成功するまで続ける。各パターンについて、1組の実験で5回分の成功の反応が得られる。結局、パターン $i=1, \dots, 5$ について試行を n_i 回行なったとすると、最後の第 n_i 回目だけが成功の回である。残り $n'_i (= n_i - 1)$ 回は反応に失敗したものである。被験者 $j (= 1, \dots, 4)$ について、第 $k (= 1, \dots, 10)$ 組目における失敗の総数 ${}^k N_j$ は

$${}^k N_j = \sum_{i=1}^5 {}^k n'_{ij}$$

となる。第 k 組目における被験者全員についての失敗の平均回数 ${}^k \bar{N}$ は

$${}^k \bar{N} = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 {}^k N_j$$

となる。成功した場合も含めた試行総数の平均は ${}^k \bar{N} + 5$ であるので、平均失敗率 ${}^k F$ は

$${}^k F = \frac{{}^k \bar{N}}{{}^k \bar{N} + 5}$$

となる。被験者 j が、第 k 組目の第 i 試行において、中央を過ぎたと判断して反応した位置と真の中央(プロ

*生産機械工学科

グラム上で、100で示される位置)との差を ${}^k d_{ij}$ とする。被験者 j の、 k 組目の試行における平均 ${}^k \bar{d}_j$ は

$${}^k \bar{d}_j = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 d_{ij}$$

となる。被験者 j についての総平均 \bar{d}_j は

$$\bar{d}_j = \frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} {}^k \bar{d}_j$$

で表わされる。後に Table 1, 2 において示すように、被験者を区別する必要がないため、被験者全員についての平均 ${}^k \bar{d}$ を求めると、

$${}^k \bar{d} = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 {}^k \bar{d}_j$$

を得る。さらに全体を通じての平均 \bar{d} は

$$\bar{d} = \frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} {}^k \bar{d}$$

以上のようなシミュレーションにおいて、まずパターンによる違いがあり得るのか、あるいは被験者によってなんらかの差異があるものかどうかは今後に種々の意味で影響を及ぼす。これは単に個人差の問題だけではなく、パターンによって得手不得手があるものとわかれば、そこに何か特殊な要因を含んでいる可能性があるからである。この意味で、パターンと被験者の影響について分析をした結果を Table 1 および 2 に掲げ

た。用いた値は \bar{d}_i である。A は被験者 1~4、また B はパターン 1~5 を示す。この結果、乱数の randomness にとくに問題はなく、また被験者に依らないところから、現象として一般性のあるものといえる。(仮説は“被験者による違いはない、並びにパターン(乱数)による違いはない。”である。そして、仮説は採択された。)したがって以下においては、 \bar{d} を適用する。次に局所化の程度を示す、ウィンドウの幅(同時表示行数)による差(仮説:ウィンドウ幅による差はない)、ならびに○×の記号の変化の仕方を直線的、曲線的、およびランダムと変えたときの差(仮説:変化の仕方による差はない)について分析した。この結果を Table 3, 4 に示す。A は順に同時表示行数 1, 5, 25 を示し、B は順に直線的变化、曲線的变化、ランダムな変化を示す。分析の結果、ウィンドウの幅については、幅を変えることで局所化の程度が変化し、このことが実験結果に影響を与えていることがわかる。そこでさらに、平均の差について有意性を検定した結果、Table 5 のようになった。Table 5 に示すように、ウィンドウ幅 1 と 5 の間、および 1 と 25 の間に有意な差があり、5 と 25 の間には有意な差はみられないことがわかる。この結果の意味するところは、局所化の度合いが小さいところではあまり局所化を緩めることが影響力を持たないと

Table 1 Two-way experimental layout with the subjects as A class and the patterns as B class.

A \ B	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	Total	Average
A ₁	4.9	3.4	3.5	6.6	3.5	21.9	4.38
A ₂	7.6	4.6	5.0	3.0	5.2	25.4	5.08
A ₃	7.0	4.3	5.4	4.3	4.6	25.6	5.12
A ₄	3.0	3.1	2.8	3.9	4.4	17.2	3.44
Total	22.5	15.4	16.7	17.8	17.7	90.1	
Average	5.63	3.85	4.18	4.45	4.43		4.51

Table 2 Analysis of variance table for the data given in Table 1

	Square	Freedom	Variance	F ₀	F(α)	
A class	9.3	3	3.1	2.07	5.95	3.49
B class	7.2	4	1.8	1.2	5.41	3.26
Error	18.51	12	1.5		α=1	α=5
Total	35.01	19			(%)	(%)

Table 3 Two-way experimental layout with the window widths as the A factor and the modes of symbol layout as the B factor.

A \ B	B ₁	B ₂	B ₃	Total	Average
A ₁	16.4	10.4	16.0	42.8	14.3
A ₂	8.8	8.4	10.5	27.7	9.23
A ₃	4.0	4.2	8.7	16.9	5.63
Total	29.2	23.0	35.2	87.4	
Average	9.73	7.67	11.7		9.71

Table 4 Analysis of variance table for the data given in Table 3.

	Square	Freedom	Variance	F ₀	F(α)	
A class	112.8	2	56.4	15.5	6.94	18.0
B class	24.8	2	12.4	3.42	6.94	18.0
Error	14.5	4	3.63		α=5	α=1
Total	152.1	8			(%)	(%)

いうことである。すなわち、5と25ではウィンドウ幅として考えれば、これらの差は非常に大きい。局所化という意味ではウィンドウ幅5ですでに十分局所化の程度が小さくなっており、さらに程度を小さくすることが意味を持たないことを示している。なお、

$$t_{\alpha, (h-1)(k-1)} = t_{0.05, 4} = 2.776$$

$$\left(\frac{2s_E}{k} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{2 \times 3.63}{3} \right)^{\frac{1}{2}} = 1.556$$

$$t_{0.05, 4} \times 1.556 = 4.32$$

である。次にランダムパターンにおける各行の表示時間（スクロールの速さ）の影響とランダムパターンにおけるウィンドウ幅の影響について検定したものである。（仮説：ランダムパターンにおいては表示時間を変えても（200ms, 600msの2種類）、ウィンドウ幅を変えても影響はない）これについてはTable 6, 7に示したように、仮説は採択された。Aは順に表示時間200ms, 600msである。Bは順に同時表示行数1, 5, 25を示す。上の検定において同じくウィンドウ幅の影響についての仮説は棄却されているが、この検定においては採択されている。これは、この検定においては、変化の仕方のランダムなものに限っているためである。すなわちこの場合、[1]において述べたように、二つの因子が考えられ、むしろその因子に注目することが要

Table 5 Test on the difference between the means of the levels of the A factor and the window width in the B factor.

Window Width	1	5	25
1	—		
5	R	—	
25	R	A	—

Table 6 Two-way experimental layout with the exposure times as the A factor and the window widths as the B factor.

A \ B	B ₁	B ₂	B ₃	Total	Average
A ₁	16.0	10.5	8.7	35.2	11.7
A ₂	7.4	7.0	2.5	16.9	5.63
Total	23.4	17.5	11.2	52.1	
Average	11.7	8.75	5.6		8.68

Table 7 Analysis of variance table for the data given in Table 6 .

	Square	Freedom	Variance	F ₀	F(α)	
A class	55.8	1	55.8	16.91	98.5	18.5
B class	37.2	2	18.6	5.64	99.0	19.0
Error	6.6	2	3.3		α=1	α=5
Total	99.6	5			(%)	(%)

Table 8 Two-way experimental layout with the combinations of symbols used as the A factor and the numbers of trials as the B factor.

A \ B	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉	B ₁₀	Total	Average
A ₁	58.3	61.5	54.5	37.5	50.0	28.6	16.7	28.6	16.7	0.0	352.4	35.2
A ₂	44.4	50.0	37.5	37.5	16.7	0.0	16.7	0.0	0.0	0.0	202.8	20.3
Total	102.7	111.5	92.0	75.0	66.7	28.6	33.4	28.6	16.7	0.0	555.1	
Average	51.4	55.8	46.0	37.5	33.4	14.3	16.7	14.3	8.35	0.0		27.8

Table 9 Analysis of variance table for the means of the levels of the A factor in Table 9 for which the null hypothesis was rejected.

	Square	Freedom	Variance	F ₀	F(α)	
A class	1119	1	1119	14.37	10.56	13.6
B class	6861	9	762.3	9.79	5.35	6.54
Error	701	9	77.89		α=1	α=0.5
Total	8681	19			(%)	(%)

求されていて、その影響が出たものと思われる。最後に、記号を変えることの影響 (○×でなく、より見やすい記号□# (□は空白を示す。)に変更したらどうなるか)、ならびに繰り返し行なうこと(すなわち経験の蓄積、10セット目までに習熟効果が現われているかどうか)の影響について、失敗率^kFを適用して分析を行った結果を Table 8, 9 に示す。(仮説：記号を変えることの影響並びに経験の効果はない) A₂が記号を変更した場合である。Bは順に試行 k=1, ..., 10を示す。仮説は1%水準、0.5%水準において棄却され、いずれについても効果無しとはいえないという結果を得た。どの辺りでその影響がでていくかについて、Table 10, 11に示した。(1%水準で分析した。)なお、記号の変更について、

Table 10 Test on the difference between the means of the levels of the B factor in Table 9 for which the null hypothesis was rejected.

Symbol	α	β
α	—	
β	R	—

$$t_{\alpha, (h-1)(k-1)} = t_{0.01, 9} = 3.250$$

$$\left(\frac{2S_E}{k} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{2 \times 77.89}{10} \right)^{\frac{1}{2}} = 3.947$$

$$t_{0.05, 4} \times 3.947 = 12.82$$

同様に、試行した組数について、

Table 11 Test on the difference between the means of the levels of the B factor in Table 9 for which the null hypothesis was rejected.

Trial No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-									
2	A	-								
3	A	A	-							
4	A	A	A	-						
5	A	A	A	A	-					
6	R	R	R	A	A	-				
7	R	R	R	A	A	A	-			
8	R	R	R	A	A	A	A	-		
9	R	R	R	R	A	A	A	A	-	
10	R	R	R	R	R	A	A	A	A	-

$$t_{\alpha, (h-1)(k-1)} = t_{0.01, 9} = 3.250$$

$$\left(\frac{2S_E}{h} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{2 \times 77.89}{2} \right)^{\frac{1}{2}} = 8.826$$

$$t_{0.05, 4} \times 8.826 = 28.68$$

を得た。前半、とくに初回と後半との差がみられる。そして、中盤と後半とはあまり差がないという結論であり、習熟の効果のパターンになっていると思われる。

おわりに

ここで示したシミュレーションによる実験においては、個人差を積極的に考慮する必要はないという結果

であった。局所化の影響がやはり出ていること、表示記号を替えると見やすくなること、また習熟効果があることなどがわかった。カタストロフィックな挙動は情報が不足しているために生じるものであって、ここで示したように、情報の提供の仕方を変えることによって判断のしやすさを生み出すことができる。

参考文献

- [1] 酒井, 野山: 人間-機械インタフェースにおける誤りの問題について, 山口大学研究報告第40巻第2号, 369(1990)

(平成2年4月14日受理)